

## ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЧОВИН

УДК 620.179.16:621.43-721

### УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ЕКСПРЕС-МЕТОД КОНТРОЛЮ НАЯВНОСТІ ВОДИ І ПАЛИВНИХ ФРАКЦІЙ В МОТОРНИХ ОЛИВАХ

**В.Ф. Яковлєв, Р.В. Кушлик, О.В. Микитенко, Р.Р. Кушлик**

*Таврійський державний агротехнологічний університет (ТДАТУ), просп. Б. Хмельницького,  
18, м. Мелітополь, 72312, тел. (8-06192) 6-19-69,  
e-mail: kushlyk@mail.ru*

*Представлені результати лабораторних випробувань установки для контролю вмісту води і паливних фракцій в моторних оливах акустичним методом. Описані конструкція вимірювальної камери, принцип роботи експериментальної установки.*

*Представлены результаты лабораторных испытаний установки для контроля содержания воды и топливных фракций в моторных оливах акустическим методом. Описаны конструкция измерительной камеры, принцип работы экспериментальной установки.*

*The results of laboratory tests of the installation for contents control of water and fuel fraction in motor oil by acoustic method are given. There are described design of the measuring camera, principle of the working the experimental installation.*

Базовою умовою підтримування високої зносостійкості вузлів тертя сучасних машин є застосування олив відповідного типу і марок. Проте в процесі використання олива піддається забрудненню в тій чи іншій степені водою і паливом, що обумовлює втрату оливою працездатності. В результаті активізується протизадирна присадка, яка викликає підвищену інтенсивність зносу робочих поверхонь деталей [1].

Забезпечення працездатності моторних олив в країнах Євросоюзу здійснюється шляхом моніторингу їх стану на базі розвинутої мережі аналітичних лабораторій. В Україні такої сервісної мережі немає. Це пов'язано з високою працездатністю аналізів олив, дорогою апаратурою, витратами на матеріали і необхідністю у висококваліфікованому персоналі. Враховуючи збільшення цін нафтопродуктів на світовому ринку, повторне використання відпрацьованих олив дозволить отримати значний економічний ефект.

Метою даної роботи є обґрунтування методу для одночасного контролю вільної води і паливних фракцій в моторних оливах.

В лабораторії НДІ ТДАТУ по програмі «Електротехнічні та ультразвукові засоби обробки та контролю якості сільськогоспо-

дарської продукції та матеріалів» розроблена акустична установка, яка дозволяє проводити вимірювання концентрації паливних фракцій і води в моторних оливах при нормальному тиску в інтервалі температур 20-90°C і інтервалі ультразвукових частот 800-5000 кГц.

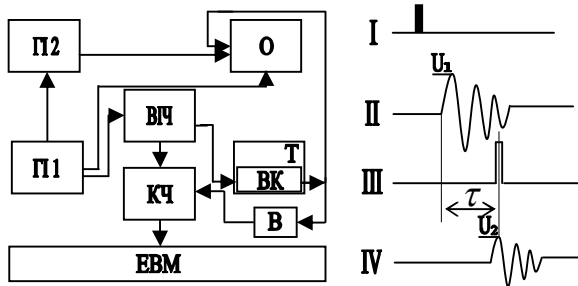
Установка складається з двох генераторів імпульсів ГП1 і ГП2 (Г5-56 і Г5-54), вимірювача інтервалів часу ВІЧ (ЧЗ-34), осцилографа О (С1-96), водяного термостата Т (УН-8), імпульсного вольтметра В (В7-30), контролера часу КЧ (SH2000/1), ЕВМ і вимірювальної камери ВК (рис.1).

На рис. 2 представлена структурна схема вимірювальної камери. Корпус камери виготовлено із бронзи і складається із двох стикових симетричних частин, які призначені для вимірювання швидкості і коефіцієнта поглинання ультразвуку на різних фіксованих відстанях.

Камера з дослідним зразком розміщується у водяному термостаті УН-8 і термостатується з похибкою до 0,05 °С.

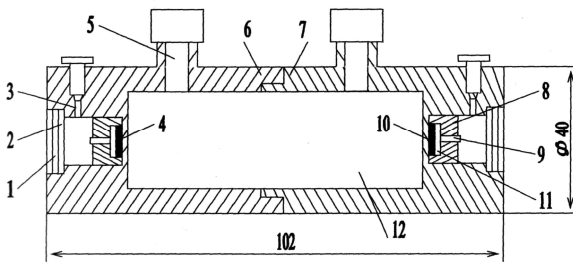
При вимірюванні швидкості ультразвуку генератор імпульсів ГП1 виробляє синхроімпульс І (рис.1), яким запускається розвертка осцилографа О. Цим же генератором через вимірювач інтервалів часу ВІЧ

створюється ударне збудження п'єзовипромінювача, який змонтовано в вимірювальній камері ВК.



П1, П2 – генератор імпульсів; ВІЧ – вимірювач інтервалів часу; О – осцилограф; Т – водяний термостат; ВК – вимірювальна камера; В – імпульсний вольтметр; КЧ – контролер часу; ЕВМ – комп'ютер

**Рисунок 1 - Структурна схема установки з епіюрами сигналів**



1, 8 – гайки; 2, 11 – фторопластові прокладки; 3 – кабельний канал; 4, 10 – випромінюючий та приймаючий ультразвуковий перетворювач, відповідно; 5 – отвір для заливання оливи; 6, 7 – два стикові корпуси; 8 – гайка; 9 – латунні вставки; 12 – вимірювальна камера

**Рисунок 2 - Структурна схема вимірювальної камери**

П'єзовипромінювач П1 випромінює ультразвукові імпульси в дослідне середовище, які приймаються іншим п'єзоприймачем. Сигнал з виходу п'єзоприймача з затримкою часу  $\tau$  відносно зондуемого сигналу поступає на один із входів осцилографа О. Час проходження ультразвуку в акустичній камері визначається вимірювачем інтервалу часу ВІЧ і через контролер КЧ вводиться в ЕВМ. На другий вхід осцилографа О від другого генератора імпульсів П2 поступає сигнал-мітка з регульованою затримкою часу. Час  $\tau$  відносно зондуемого сигналу вимірюється вимірювачем ВІЧ, який спрацьовує по деяких рівнях напруги  $U_1$  і  $U_2$ .

Цими рівнями можна визначити амплітуду випромінюючого і прийнятого сигналів.

Змінюючи за допомогою генератора імпульсів П2 величину затримки сигнал-мітки, зміщують її фронт з вершиною прийнятого акустичного сигналу. За рахунок цього показники ВІЧ збільшуються на величину  $\tau$ .

Для вимірювання швидкості і коефіцієнта поглинання ультразвуку використано відомий імпульсний метод „прямого відрахунку” по часу проходження ультразвукового імпульсу в дослідному середовищі.

Згідно з класичними представленнями про розповсюдження ультразвуку в рідинах, поглинання обумовлюється втратами акустичної енергії, яке пов'язано із в'язкістю і теплопровідністю рідини. Коефіцієнт поглинання ультразвуку  $\alpha$  при цьому визначається виразом [2]:

$$\alpha = (\alpha_\eta + \alpha_\kappa) f^2 = \frac{2\pi^2}{\rho c^3} \left[ \frac{4}{3} \eta + K \left( \frac{1}{C_v} - \frac{1}{C_p} \right) \right] f^2, \quad (1)$$

де  $\alpha_\eta$  і  $\alpha_\kappa$  – коефіцієнти, які визначаються в'язкістю і теплопровідністю рідини;  $\rho$  – густина рідини;  $c$  – швидкість ультразвуку;  $\eta$  – коефіцієнт зсувної в'язкості;  $K$  – коефіцієнт теплопровідності;  $C_v$  і  $C_p$  – коефіцієнти питомої теплоємності;  $f$  – частота ультразвукових коливань.

Для розрахунку коефіцієнта поглинання  $\alpha$  в моторних оливах імпульсним методом, згідно рис. 3 проводились вимірювання амплітуди  $U$  в мВ по висоті першого сигналу, яка визначалась за виразом:

$$U = U_0 K_1 e^{-\alpha L} K_2. \quad (2)$$

Якщо прологарифмувати напругу амплітуд, то отримуємо, що

$$\ln U = \ln U_0 K_1 K_2 - \alpha L. \quad (3)$$

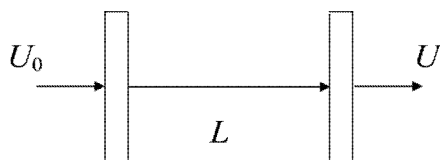
Звідси

$$\alpha = \frac{\ln U_0 K_1 K_2 - \ln U}{L_0 + L_n}, \quad (4)$$

де  $\ln U_0 K_1 K_2 = K$  – величина, яка є постійною для даної установки при вимірюванні коефіцієнту поглинання в моторних оливах при заданій частоті ультразвуку, величині акустичної бази камери й коефіцієнті підсилення сигналу;  $L_0$  – акустична база камери;  $L_n$  – змінена акустична база камери.

При проведенні експериментальних досліджень по визначенню паливних фракцій і вільної води в моторних оливах постійна  $K$

визначалась шляхом градування з використанням еталонних рідин (дистильованої води і гліцерину) наступним чином.



**Рисунок 3 - Схема акустичного тракту для розрахунку коефіцієнта поглинання ультразвуку в рідинах**

Коефіцієнт поглинання для еталонної рідини

$$\alpha_{\text{ет}} = \frac{K - \ln U_{\text{ET}}}{L}. \quad (5)$$

Звідси  $K$  для еталонної рідини дорівнює

$$K = \alpha_{\text{ET}} L + \ln U_{\text{ET}}. \quad (6)$$

Так як середнє значення для  $\alpha_{\text{води}}$  при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  становить  $25 \cdot 10^{-17} \text{с}^2/\text{см}$  [2], то коефіцієнт поглинання для води буде таким:

$$\alpha_{\text{води}} = \frac{\alpha_{\text{ET}}}{f^2} f^2 = 25 \cdot 10^{-17} \text{с}^2/\text{см}. \quad (7)$$

Для дистильованої води на частоті ультразвуку 3 МГц постійна  $K$  буде такою:

$$\alpha_{\text{води}} = 25 \cdot 10^{-17} \cdot 3^2 \cdot 10^{12} \text{см}^{-1} = 0,00225 \text{см}^{-1},$$

$$K_{\text{води}} = 0,0025 \cdot 10,2 + \ln 2150 = 7,695.$$

Якщо середнє значення для  $\alpha_{\text{гліц.}}$  при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  становить  $2500 \cdot 10^{-17} \text{с}^2/\text{см}$  [2], то коефіцієнт поглинання для гліцерину буде таким:

$$\alpha_{\text{гл.}} = \frac{\alpha_{\text{ET}}}{f^2} f^2 = 2500 \cdot 10^{-17} \text{с}^2/\text{см}. \quad (8)$$

Для гліцерину на частоті ультразвуку 3 МГц постійна  $K$  буде такою:

$$\alpha_{\text{гліц.}} = 2500 \cdot 10^{-17} \cdot 3^2 \cdot 10^{12} \text{см}^{-1} = 0,225 \text{см}^{-1},$$

$$K_{\text{гліц.}} = 0,225 \cdot 10,2 + \ln 1100 = 9,295.$$

Для встановлення впливу температури, частоти і концентрації оливи на вихідний параметр (коефіцієнт поглинання) було проведено трьохфакторний експеримент на моторній оливі М10-Г2к. Були вибрані відповідні значення факторів і їх інтервали варіювання, які представлені в табл. 1 [3].

На основі проведених вимірювань коефіцієнта поглинання ультразвуку було отримано рівняння регресії для моторної оливи М10-Г2к:

$$y = 0,04 + 0,013X_1 - 0,007X_2 + 0,0053X_1X_2. \quad (9)$$

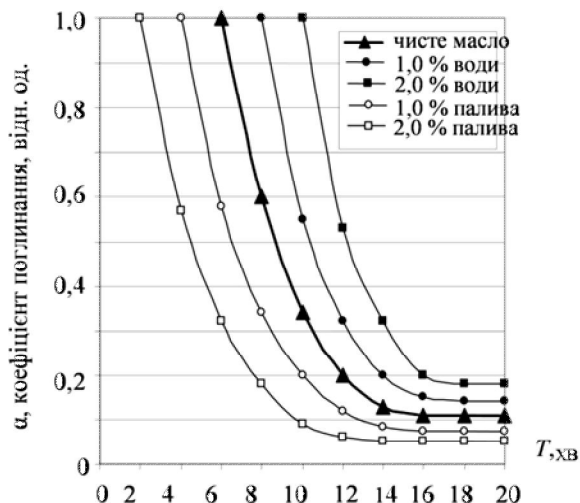
Із даного рівняння слідує, що коефіцієнт поглинання при вимірюванні паливних фракцій в моторній оливі переважно залежить від частоти ультразвуку, температури і взаємозв'язку між частотою і температурою.

**Таблиця 1 – Інтервали варіювання**

Фактори	Значення рівнів			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
$X_1$ – частота, МГц	1	3	5	2
$X_2$ – температура, $^{\circ}\text{C}$	20	40	60	20
$X_3$ – концентрація, мас. %	0	2	4	2

Перевірка за допомогою критерію Фішера показала, що отримана модель є адекватною і дозволяє прогнозувати значення вихідного параметру при різних сполученнях впливових факторів.

Крім цього, були проведені більш детальні експериментальні дослідження моторної оливи М10-Г2к з концентраціями палива і вільної води 0, 1, 2, 3, 4, 5 мас. % при температурах  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  на частоті ультразвуку 3 МГц (рис. 4).



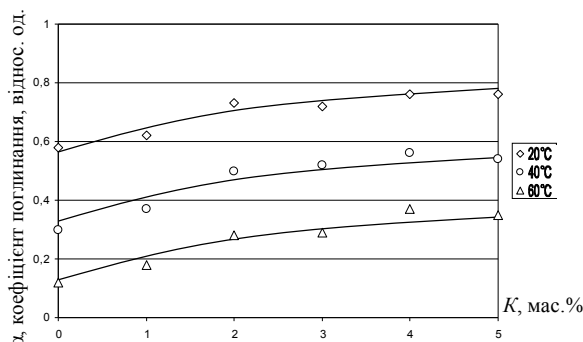
**Рисунок 4 - Залежність коефіцієнта поглинання ультразвуку від часу при різних концентраціях води і палива в моторній оливі**

На протязі відповідного часу значення  $\alpha$  зменшується до деякого встановленого значення, що пояснюється виділенням повітряних бульбашок, які утворились при перемішуванні і які в свою чергу суттєво

впливають на величину коефіцієнта поглинання. Однак, при збільшенні води в моторній оливі криві залежностей зміщуються вправо від кривої для чистої оливи, а при збільшенні дизельного палива криві залежностей зміщуються вліво від кривої чистої оливи [4].

Отже про наявність води чи паливних фракцій в відпрацьованих моторних оливах можна судити по характеру залежності коефіцієнта поглинання від часу з використанням передчасно проведених тарованих вимірювань з відомою концентрацією води і паливних фракцій.

На рис. 5 представлено залежності коефіцієнта поглинання ультразвуку від концентрації води при температурах зразків 20, 40 і 60 °C. Спостерігається збільшення значення  $\alpha$  на 20%.



**Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта поглинання ультразвуку від концентрації води в моторній оливі при температурах зразків 20, 40, 60 °C**

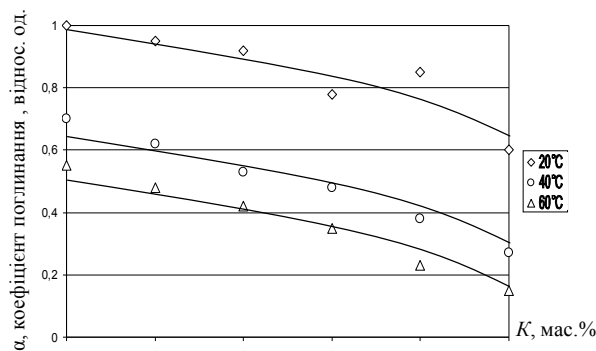
На рис. 6 представлені залежності коефіцієнта поглинання ультразвуку від концентрації палива при температурах зразків 20, 40 і 60 °C. Спостерігається зменшення  $\alpha$ , що пояснюється зменшенням в'язкості моторної оливи при додаванні палива.

## ВИСНОВКИ

Розроблено структурну схему установки експрес-контролю концентрації води і паливних фракцій в моторних оливах, на основі якої реалізована лабораторна установка для проведення експериментальних досліджень.

За результатами проведених експериментальних досліджень отримано залежності коефіцієнта поглинання ультразвукових хвиль від часу і концентрації води та паливних фракцій у моторних оливах.

Із збільшенням концентрації палива у моторних оливах при фіксованій частоті і температурі коефіцієнт поглинання ультразвуку зменшується, а при збільшенні концентрації води в оливі при фіксованій частоті і температурі коефіцієнт поглинання ультразвуку зростає.



**Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта поглинання ультразвуку від концентрації палива в моторній оливі при температурах зразків 20, 40, 60 °C**

## Література

- 1 Скиндер Н.И., Гурьянов Ю.А. О необходимости систематического контроля качества работающих моторных олиив // *Химия и технология топлив и олиив*. – 2003. – №5. – С. 28–30.
- 2 Бражников Н.И. Ультразвуковые методы (Физические и физико-химические методы контроля состава и свойств вещества под общей редакцией академика АН Киргизской ССР Н.Н. Шумиловского). – М.: «Энергия» 1965. – 248 с.
- 3 Богданович Н.И. Расчеты в планировании эксперимента. – Л.: 1978. – 80 с.
- 4 Пат. 27720 Україна, МПК (2006) G01N33/26. Спосіб визначення забрудненості відпрацьованого моторного олиив / Кушлик Р.В., Яковлев В.Ф., Микитенко О.В., Кушлик Р.Р.; Укр.- № u2007 07700; Заяв.09.07.2007. Опубл.12.11.2007. Бюл. №18

Поступила в редакцію 20.03.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,  
проф. Дідур В. А.